

1. Костромин А.М. Об оптимальном управлении тепловозом. // Оптимизация управления и повышение эффективности работы локомотивов // Труды Белорус. ин-та инж. ж.-д. трансп. – Гомель, 1984. – С. 42–49.
2. Костромин А.М. Оптимизация управления локомотивом. – М.: Транспорт, 1979. – 119 с.
3. Streit K., Partzsch L. Telematik-Schlüsselfaktor für die moderne Bahnen // ETR - Eisenbahntechnische Rundschau. – 1997. – № 7-8. – С. 93 – 99.
4. Луков Н.М. Автоматизация тепловозов, газотурбовозов и дизель-поездов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
5. Фоминский Г.В. Автомашинист: назначение, область применения, перспективы совершенствования // Электрическая и тепловозная тяга. – 1975. – №1. – С.40–42.
6. Ерофеев Е.В., Мостов И.С. Оптимизация программ движения поездов // Труды Москов. ин-та инж. ж.-д. трансп. – 1977. – №550. – С.121–125.
7. Носков В.И., Колыбин Ю.Н., Липчанский М.В. Оптимизационная модель для синтеза терминальных управлением движением электропоезда. // Вісник НТУ "ХПІ": 36. наук. праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2001. – №4. – С.15–19.
8. Батенко А.П. Системы терминального управления. – М.: Радио и связь, 1984. – 160 с.

Получено 12.02.2004

УДК 658.152 : 504 : 656.2

А.Б.БАБАНИН, д-р техн. наук, В.В.АРТЕМЕНКО

Українська державна академія залізничного транспорту, г.Харьков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПЫТАНИЙ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Приводится методика определения температуры нагрева тяговых электродвигателей локомотивов пирометром при проведении испытаний. Предложен коэффициент оценки ускорения проведения испытаний на стенде.

Тяговый электродвигатель является лимитирующим элементом оборудования вследствие наиболее жестких габаритных и весовых ограничений, а также тяжелых условий эксплуатации. Поэтому, с учетом старения парка, нагревание именно этого узла представляет особый интерес и важно достаточно точно оценить его тепловые свойства.

В процессе ремонта или модернизации тяговые двигатели подвергаются различным видам испытаний, одним из которых является проверка на нагревание на специальном стенде, где предусматривается их работа по методу взаимной нагрузки без охлаждения в часовом режиме. Сложившаяся система испытаний тяговых двигателей была создана в первые годы освоения эксплуатации тягового подвижного состава. За этот период значительно изменились конструкции, а также применяемые материалы при изготовлении и ремонте двигателей. В значительной мере стала другой и сама технология ремонта. В то же вре-

мя сам технологический процесс проведения испытаний после ремонта остался практически без изменений.

Основные требования к определению температурных параметров при проведении испытаний электрических машин изложены в [1]. В работе [2] изложены теоретические вопросы ускоренных испытаний электрических машин, а в работе [3] рассмотрены направления технической реализации измерения параметров при проведении испытаний. Достаточно обширный и интересный материал по проведению испытаний с контролем параметров приведен в работе [4]. Оценка качества ремонта тяговых электродвигателей после ремонта рассмотрена в работе [5]. В то же время необходимо отметить, что эти исследования направлены на развитие методического обеспечения, без учета внедрения современных технологических подходов.

Анализируя достижения в области испытаний тяговых электрических машин, необходимо отметить, что существующие аппаратные средства температурного контроля морально и физически устарели. В результате этого испытание на нагревание выполняются с недопустимо низкой точностью измерения температуры нагрева. Естественно, что в таких условиях оценить работоспособность и получить достоверные результаты весьма трудно. Подтверждающим обстоятельством является тот факт, что при проведении стендовых испытаний, как правило, не имеют места случаи отбраковки тяговых двигателей по нагреванию. Между тем повреждаемость тяговых двигателей по данному фактору продолжает оставаться высокой. Очевидно, что отсутствие отбраковки двигателей при испытаниях отнюдь не является показателем высокого качества ремонта, а скорее отражает неэффективность контроля, обусловленную недостаточностью и низким уровнем имеющихся средств проверки, а также несовершенством самой технологии проведения испытаний.

Целью настоящей работы является изложение разработанной методики дистанционного измерения температуры при проведении испытаний тяговых электродвигателей локомотивов на основе применения инфракрасных преобразователей (пирометров).

В настоящее время при контроле температуры электрических машин во время испытаний практическое применение имеют метод сопротивления и метод встроенных термоиндикаторов [4]. Метод сопротивления, при котором измеряется сопротивление обмоток в холодном и нагретом состоянии, основывается на определении зависимости между температурой нагрева τ и сопротивлением проводников якоря и полюсов. Эта зависимость определяется из формулы

$$\tau = \frac{\frac{R_{\Gamma} - 1}{R_X}}{235 + \tau_x} + \tau_x - \tau_{н.с}, \quad (1)$$

где R_{Γ} , R_X – соответственно сопротивление обмоток в горячем и холодном состояниях; τ_x – температура холодных обмоток; $\tau_{н.с}$ – температура окружающей среды.

При втором методе измеряется температура интересующей поверхности, с которой контактирует термоиндикатор.

К недостаткам данных методов следует отнести длительную продолжительность испытаний, низкую точность измерения температуры, а также значительные трудозатраты на их проведение.

Исходя из этого работниками локомотивного депо Лозовая Южной железной дороги совместно с сотрудниками кафедры "Эксплуатация и ремонт подвижного состава" Украинской государственной академии железнодорожного транспорта проведены исследования и выполнены разработки по совершенствованию теплового контроля тяговых электродвигателей тепловозов при их обкатке.

Как известно [8], инфракрасный пирометр принимает тепловой поток инфракрасного излучения от нагретого тела, преобразовывает его в электрический сигнал и выдает результат на цифровой индикатор. Измерить мощность инфракрасного потока излучения с поверхности нагретого тела можно только в спектральном диапазоне [6]. При этом электрический сигнал на выходе из приемника пирометра зависит от мощности принимаемого потока излучения. Это обстоятельство позволяет проградуировать приемник по эталонному излучателю, в качестве которого может быть так называемое абсолютно черное тело (АЧТ). Если излучательная способность поверхности объекта ϵ приведена к излучению АЧТ, можно, определив поток излучения объекта, непосредственно определить его температуру. В то же время, на основании проведенных исследований было установлено, что сравнительно небольшое изменение излучательной способности нагретой поверхности ведет к значительной погрешности измерения температуры. Исходя из этого, была предложена методика оценки погрешностей при проведении измерений и определены специальные поправки.

В основу было положено то, что главной характеристикой излучения АЧТ является спектральная поверхностная плотность излучения, которая определяется как [7]

$$r_{\lambda} = \pi \cdot b_{\lambda}, \quad (2)$$

где b_λ – спектральная лучистость, Вт/(см²·мкм).

Если в поле зрения пирометра находится объект, излучательная способность ε , температура τ которого в отдельных участках отличаются от средних значений на $\Delta\varepsilon \ll \varepsilon$ и $\Delta\tau \ll \tau$, то отличие спектральной плотности излучения от среднего значения может быть найдено из выражения [8]

$$\begin{aligned} \Delta b_\lambda(\tau, \varepsilon) &= \frac{dr_\lambda(\tau, \varepsilon)}{\pi d\tau} \Delta\tau + \frac{dr_\lambda(\tau, \varepsilon)}{\pi d\varepsilon} \Delta\varepsilon_\lambda = \\ &= \frac{db_\lambda(\tau, \varepsilon)}{d\tau} \Delta\tau + \frac{db_\lambda(\tau, \varepsilon)}{d\varepsilon} \Delta\varepsilon_\lambda. \end{aligned} \quad (3)$$

Предполагая, что ε не зависит от τ , получаем

$$\Delta b_\lambda(\tau, \varepsilon) = \varepsilon \lambda \frac{db_{\lambda AЧТ}}{d\tau} \Delta\tau + b_{\lambda AЧТ}(\tau) \Delta\varepsilon_\lambda. \quad (4)$$

Заменяя спектральные характеристики приемника излучения и оптической системы пирометра соответственно функциями $S(\lambda)$ и $\mu(\lambda)$, получаем

$$\Delta U_c = Q \left[\Delta\tau \int_0^\infty S(\lambda) \mu(\lambda) \varepsilon(\lambda) \frac{db_{\lambda AЧТ}}{d\tau} + \Delta\varepsilon \int_0^\infty S(\lambda) \mu(\lambda) b_{\lambda AЧТ}(\tau) d\lambda \right], \quad (5)$$

где Q – коэффициент пропорциональности.

Считая, что если ε и $\Delta\varepsilon$ не зависят от длины волны λ и заменяя $\mu(\lambda)$ некоторым средним значением $\bar{\mu}$, имеем

$$\Delta U_c = Q \bar{\mu} [\Delta T \varepsilon J_2(\tau) + \Delta\varepsilon J_1(\tau)], \quad (6)$$

где

$$J_1(\tau) = \int_0^\infty S(\lambda) b_{\lambda AЧТ}(\tau) d\lambda; \quad (7)$$

$$J_2(\tau) = \int_0^\infty S(\lambda) \frac{b_{\lambda AЧТ}(\tau)}{d\tau} d\lambda. \quad (8)$$

Приравняв первое и второе слагаемые (7), (8), окончательно получаем

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon \frac{J_2(\tau)}{J_1(\tau)} \Delta\tau = \varepsilon F_o(\tau) \Delta\tau. \quad (9)$$

На основании рассчитанных значений J_1 , J_2 и F_o была определе-

на методическая погрешность инфракрасного пирометра и установлены значения излучательной способности коллектора тягового электродвигателя ε_λ (как наиболее теплонпряженного при работе) и погрешности измеренной температуры $\Delta \tau$.

Приведенная (реальная) температура нагрева коллектора тягового электродвигателя определялась из соотношения [7]

$$\tau = \tau_{II} 4 \sqrt{\frac{1}{(\varepsilon_\lambda)^3}}, \quad (10)$$

где ε_λ – коэффициент излучательной способности (который для меди коллектора принимался 0,85); τ_{II} – температура, измеренная пирометром, °C.

На основании данной методики были получены зависимости изменения температуры нагрева тягового электродвигателя ЭД-121У1 при измерении существующим и пирометрическим методами.

Кроме того, проведенными исследованиями было установлено следующее. При измерении температуры нагрева тягового электродвигателя в процессе проведения испытаний необходимо, согласно нормативной документации, через 15-20 минут его останавливать, измерять сопротивление обмоток, а затем снова запускать и продолжать испытания. На основании этого была получена зависимость 2, приведенная на рисунке. Из графика видно, что в интервалах времени t_1 (участок $a-b$), t_3 (участок $c-d$) и t_5 (участок $e-k$) происходит рост температуры нагрева. В интервалах t_2 (участок $b-c$) t_4 (участок $d-e$) t_6 (участок $k-l$) происходит измерение сопротивление обмоток тягового электродвигателя.

Полученные данные были аппроксимированы следующими зависимостями:

участок $a-b$

$$f_1 = 73,1419 t^{0,268464} - 74,5448 ;$$

участок $b-c$

$$f_2 = 0,0035834 t^2 - 0,3716456 t + 93,98595 ;$$

участок $c-d$

$$f_3 = 20,49964 t^{0,360971} + 17,27137 ;$$

участок $d-e$

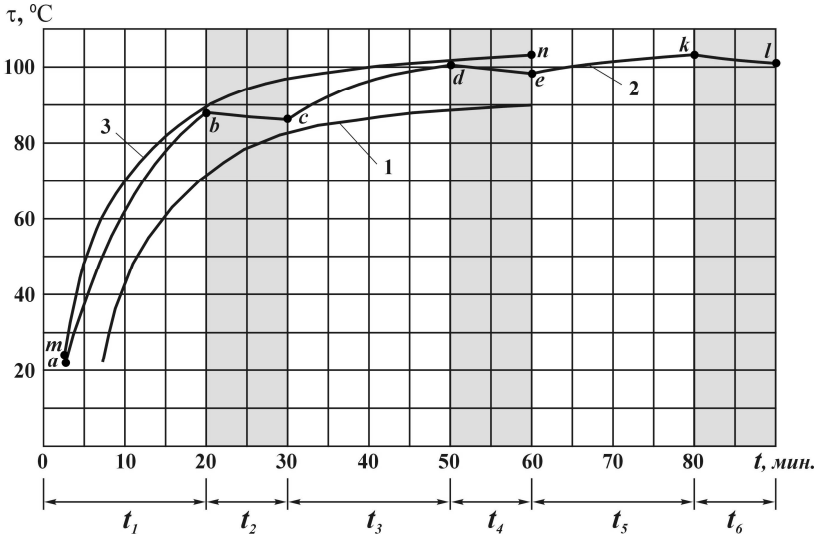
$$f_4 = -0,0004131 t^2 - 0,177408 t + 110,4507 ;$$

участок $e-k$

$$f_5 = 6,65602 t^{0,420395} + 61,2353;$$

участок $k-l$

$$f_6 = 0,0101034 t^2 - 1,95253 t + 194,932.$$



Зависимость нагрева тягового электродвигателя ЭД-121У1
при испытании по методу взаимной нагрузки ($I=450A$):

1 – температура нагрева, измеренная пирометром без учета его погрешности; 2 – температура нагрева, измеренная существующим методом (измерения сопротивлений); 3 – температура нагрева с учетом поправки на погрешность измерения пирометром.

Кривая нагревания $m-n$, измеренная при помощи пирометра, была аппроксимирована уравнением

$$f_{nup} = 100,1893 (1 - e^{-0,1222256 t}).$$

На основании полученных результатов предложен коэффициент ускорения испытаний, который определяется из выражения

$$K_y = \frac{\int_m^n f_{nup}(t) dt}{\int_a^b f_1(t) dt + \int_b^c f_2(t) dt + \int_c^d f_3(t) dt + \int_d^e f_4(t) dt + \int_e^k f_5(t) dt + \int_k^l f_6(t) dt}. \quad (11)$$

Как показали расчеты, значения коэффициента ускорения испытаний находятся в пределах 0,65-0,72.

Таким образом, определена погрешность пирометров, позволяющая повысить точность и достоверность измерения температуры при проведении испытаний тяговых электрических машин; предложен поправочный расчетный коэффициент ускорения испытаний, учитывающий ликвидацию остановок для замера температуры при помощи метода сопротивлений.

Применение данной методики позволяет сократить продолжительность испытаний на 30-35% и улучшить технологию их проведения.

1.ГОСТ 10159-79. Машины электрические вращающиеся коллекторные. Методы испытаний.

2.Исаев И.П., Матвеевичев А.П., Козлов Л.Г. Ускоренные испытания и прогнозирование надежности электрооборудования локомотивов. – М.: Транспорт, 1984.

3.Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 504 с.

4.Коварский Е.М., Янко Ю.И. Испытания электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.

5.Волков В.К. Контроль качества ремонта тяговых двигателей // Жел.-дор. трансп. – 1990. – №1. – С.52-54.

6.Брамсон М.А. Инфракрасное излучение нагретых тел. – М.: Наука, 1964. – 223 с.

7.Поскачей А.А., Чубарев Е.П. Оптико-электронные системы измерения температуры. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 246 с.

8.Жуков А.Г., Горюнов А.Н., Кальфа А.А. Тепловизионные приборы и их применение. – М.: Радио и связь, 1983. – 216 с.

Получено 12.02.2004

УДК 621.331 : 621.311

Н.А.ДЕЙНЕКО, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИСТОЧНИКОВ ОПЕРАТИВНОГО ПИТАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Анализируется внутренняя структура измерительных схем устройств защиты системы электроснабжения с точки зрения определения технического состояния и разработки методики определения технического состояния устройств по величине корректирующих сигналов в цепях самокомпенсации или обратных связей.

Внедрение в практику эксплуатации новых устройств управления и защиты, выполненных на современной полупроводниковой и микроэлектронной элементной базе привело к необходимости разработки и внедрения в эксплуатацию новых методов и средств контроля их технического состояния и надежности функционирования. Это связано с